

dell'Umbria (Italia), Fitosociologia, 37(2): 13-63.

WIEGLEB G., 1978, Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen hydrochemischen Umweltfaktoren und Makrophyten-vegetation in stehenden Gewässern, Arch. Hydrobiol., 83: 443-484, Stuttgart.

Laura Giordani¹, Sandro Meloni(†)², Massimo Oddone²

PRESENZA DI RADIONUCLIDI NATURALI ED ARTIFICIALI NELL'AREA BOSCO NEGRI - 1: CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DEL SUOLO

¹Dipartimento di Chimica Generale, Università degli Studi di Pavia, Via Taramelli 12 I-27100 Pavia.

e-mail: giordani.laura@tiscali.it

²Istituto C.N.R. per l'Energetica e le Interfasi, Dipartimento di Chimica Generale - Università degli Studi di Pavia

e-mail: massimo.oddone@unipv.it

Abstract

Presence of natural and artificial radionuclides in the Siro Negri Forest - 1: Chemical and physical characteristics of soils.

Siro Negri forest, extends for 11 ha on the Ticino river right side at 10 km from Pavia (North of Italy), it is the best example of the ancient alluvial forest of the Po plain. It was declared a Fully Protected Nature Reserve in the 1967. In the first part of this research have been studied the chemical and physical characteristics of soils collected in this site, for evaluating the relation between soils properties and distribution of natural and artificial radionuclides in pedological profile. This work is the first step in investigating of environmental radioactivity in this natural area. For this purpose samples of soil was collected in three different points and at different depth, inside this area, to investigate the vertical and horizontal migration of natural (the two series ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K) and artificial (¹³⁷Cs) radioisotopes in the soils profile.

Uranium and Thorium are found in the upper layer of the earth. They exist only as unstable, radioactive isotopes which undergo a long chain of radioactive decays to end finally with stable isotopes of the Pb (lead). Due to their short half - lives, these decay products are present in the environment only in small quantities but their activity concentration can modify the environmental radioactivity. In addition, these radioactive products of decay of the two series ²³⁸U, ²³²Th and the radioisotopes ⁴⁰K, ¹³⁷Cs are carried from river and deposited into the forest soils.

In the first area, located in the North East part of the forest (named station A), have been collected seven soil profiles at 10, 25, 40, 55, 70, 85 and 110 cm depth; in the second station, located in the central part of the forest (named station B), have been collected eight samples at 10, 25, 40, 55, 70, 85, 110 and 125 cm depth; in the third station, located in the South West part of the forest (named station C), have been collected eight samples at 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 125 cm depth.

In this part of the work we show the results related to texture, density, humidity, pH, cationic exchange capacity, organic Carbon and soils organic matter. For every analytical determination the soil samples were dried at 40°C and sieved at 2 mm. In the texture determination soils are sieved in different sieves with automatic sieve (2 mm, 200 mm, 50 mm and 20 mm) and with Laser Diffraction System (particle size comprised between 0,2 and 44 mm). The texture of the soil describe the contents of sand, silt and clay in pedological profile. In this area there is sandy soils with greater percentage at different soil depth in the three stations (station A: 55 cm depth - 88% sand; station B: 70 cm depth - 96% sand; station C: 45cm depth - 94% sand); this depth have been named layer S. Density are typical of inorganic components of the soil (2,4 and 2,9 g/cm³). Soil water content (Humidity percentage) is very small, greater in superficial layer (station A: 1,6% at 10 cm depth; station B: 1,2% at 10 cm depth; station C: 1,4% at 15 cm depth) but small in profound pedological profile. Minimum for this property correspond at layer S (station A: 0,4%; station B: 0,4%; station C: 0,2%). Soil's pH was determined potentiometrically in water and KCl 1M. Every investigated soil is acid in superficial layer (pH units: 4,4-5) and moderately acid or neutral, at greater depth (pH units: 6-7).

The Cation Exchange Capacity (CEC or CSC) is a very important parameter because the adsorption of some radionuclides on soils and on clays particles is a cation exchange phenomenon. Greater CEC have been determined in superficial layer of the station A (27,3 cmol kg⁻¹) more small, but the same order of magnitude, for the others two stations (station B: 23,7 cmol kg⁻¹; station C: 22,6 cmol kg⁻¹).

At the layer S depth the CEC is very low but it increased at greater depth (CEC of layer S - station A: 7,8 cmol kg⁻¹; station B: 4,8 cmol kg⁻¹; station C: 5,1 cmol kg⁻¹).

The organic matter may make a significant contribution to the CEC of the soil and it can have an indirect effect on radioisotopes adsorption on clay minerals. The organic Carbon were measured using Walkley-Black method and the conversion factor used were calculated like if 58% of the elemental composition of organic matter is constituted by organic Carbon. The organic matter amount in the pedological profile of the soil is elevated in the superficial part greater in station B but the same order of magnitude for station A and C (about 15 g kg⁻¹ of organic Carbon and about 25 g kg⁻¹ of organic matter). Also, in all three stations, minimum value for this parameter correspond to layer S.

Key words: radionuclides migration, texture, organic matter, cation exchange capacity.

Riassunto

Il presente lavoro ha come obiettivo la valutazione della radioattività naturale ed artificiale in campioni di suolo provenienti dalla Riserva Naturale Integrale "Bosco Siro Negri" di proprietà dell'Università degli Studi di Pavia, allo scopo di evidenziare eventuali alterazioni delle concentrazioni in attività di ⁴⁰K, delle serie ²³²Th e ²³⁸U, caratteristiche della radioattività naturale e contributi antropici, dovuti a radionuclidi artificiali come il ¹³⁷Cs. L'interesse per questo tipo d'indagine ha origine nell'importanza storica di tale Bosco quale testimonianza delle antichissime foreste planiziali che ricoprivano la Pianura Padana.

A tale scopo, nel mese di giugno del 2005, sono stati eseguiti campionamenti a diverse profondità in tre scavi realizzati nella parte nord, al centro e nella zona sud del Bosco per verificare distribuzione ed eventuale migrazione dei singoli radionuclidi. Nella prima parte di questo lavoro, si presentano i risultati ottenuti nella determinazione di alcuni parametri chimico-fisici, quali tessitura, pH, capacità di scambio cationico, carbonio organico e sostanza organica, in grado di influenzare la distribuzione e la permanenza dei radionuclidi nel suolo:

- la tessitura: prevalentemente sabbiosa o sabbioso-limoso; risulta caratteristico uno strato particolarmente ricco di sabbia,

- individuato in tutti e tre gli scavi ma localizzato a diversa profondità (strato S);
- la *densità*: tipica di un suolo in cui prevale la componente inorganica (2,4 e 2,9 g/cm³);
- l'*umidità*: molto bassa; compresa tra l'1,6 e l'1,2% nello strato superficiale, inferiore a maggiore profondità;
- il *pH*: valore inferiore di pH, in sospensione acquosa e salina (KCl 1M), riguarda lo strato più superficiale, mentre il valore più alto si riferisce allo strato S tipico di un suolo debolmente acido - neutro;
- la *Capacità di Scambio Cationico (CSC)*: alta solo nello strato superficiale; nello strato S si raggiunge il valore inferiore;
- Carbonio organico e sostanza organica*: maggiore quantità nello strato più superficiale del suolo all'aumentare della profondità, si ha un progressivo impoverimento sino a raggiungere il valore minimo in corrispondenza dello strato S.

Parole chiave: suolo, migrazione dei radionuclidi, tessitura, sostanza organica, capacità di scambio cationico.

1. Introduzione

Il "Bosco Siro Negri", oggetto del presente lavoro, ha un'estensione di circa 11 ettari ed è localizzato sulla riva destra del fiume Ticino, a circa 10 km da Pavia, nel comune di Zerbolò. Essendo poco o per nulla antropizzato, costituisce un esempio di conservazione delle antichissime foreste pianiziali che ricoprivano la Pianura Padana, di cui oggi sono rimaste poche testimonianze. Per tale motivo, in seguito alla donazione¹ eseguita nel 1967 dal proprietario Giuseppe Negri, a favore dell'Università degli Studi di Pavia, fu costituito quale Riserva Naturale Integrale^{2,3}.

Con la presente indagine, s'intende valutare la radioattività naturale ed artificiale di campioni di suolo allo scopo di evidenziare eventuali alterazioni e contributi antropici nella conservazione della Riserva Naturale. Gli isotopi che contribuiscono alla radioattività naturale hanno origine nell'alterazione dei materiali rocciosi, che costituiscono il suolo, contenenti elementi come Uranio (U) e Torio (Th) con i loro prodotti di decadimento e ⁴⁰K (isotopo 40 del Potassio). Il principale responsabile della contaminazione ambientale da radionuclidi artificiali è stato l'incidente avvenuto alla centrale nucleare di Chernobyl il 26 aprile del 1986. Nell'Italia settentrionale le maggiori ricadute radioattive si ebbero nella prima settimana di maggio e furono particolarmente intense in quanto concomitanti con piogge e nevicate in alta quota che provocarono dilavamento e trasporto al suolo del pulviscolo atmosferico radioattivo. La radioattività artificiale si distribuisce nel suolo in modo disomogeneo: la deposizione da fall-out atmosferico riguarda la superficie del suolo ma, a modificare distribuzione e migrazione dei radionuclidi negli strati sottostanti, entrano in gioco numerosi fattori tra i quali le caratteristiche chimico-fisiche del suolo e la presenza di corsi d'acqua superficiali o sotterranei. Infine, il tipo di copertura vegetale, attraverso l'assorbimento radicale e la ridistribuzione alle parti aeree della pianta, favorisce la ricaduta al suolo come conseguenza della morte delle specie botaniche.

Nella prima parte di questo lavoro, si presentano i risultati ottenuti nella determinazione di alcuni parametri chimico-fisici, quali tessitura, pH, capacità di scambio cationico, carbonio organico e sostanza organica, in grado di influenzare la distribuzione e la permanenza dei radionuclidi nel suolo. A tale scopo, sono stati eseguiti campionamenti a diverse profondità, in tre scavi realizzati rispettivamente nella parte nord, al centro e nella zona a sud del Bosco, così da verificare la distribuzione e l'eventuale migrazione (orizzontale e verticale) dei singoli radionuclidi.

Nella seconda parte, verranno presentati i risultati delle indagini radiometriche, relative alle serie ²³⁸U e ²³²Th per la verifica dell'equilibrio secolare, ⁴⁰K e ¹³⁷Cs. La loro distribuzione e le eventuali migrazioni orizzontali e verticali nel profilo pedologico del suolo.

Nella terza parte saranno mostrati i risultati dell'Analisi per Attivazione Neutronica Strumentale, le concentrazioni di elementi maggiori, minori ed in tracce e la loro disponibilità per la crescita delle piante, nonché l'eventuale presenza di metalli pesanti associata alle attività antropiche svolte nelle aree limitrofe al contesto boschivo.

2. Descrizione del sito e punti di campionamento

Il "Bosco Siro Negri" (Tomaselli & Gentile, 1971) è ubicato sulla riva destra del fiume Ticino, nella parte bassa della valle del fiume ad un'altitudine media di 63 m s.l.m. a meno di 10 km da Pavia. La superficie interessata, di circa 11 ettari, risulta censita in catasto nel Comune di Zerbolò. Confina a Nord-Est con il fiume Ticino, ad Ovest con il canale Mangialochino ed a Sud-Est con la proprietà Danol-Puata Giuseppe.

La superficie è pianeggiante ma caratterizzata da numerose irregolarità soprattutto nella parte Sud-Ovest, particolarmente lungo il lato delimitato dal canale Mangialochino. La morfologia generale denota condizioni microambientali di diverso tipo. Il substrato geopedologico risulta periodicamente modificato dalle piene del fiume a seguito di alluvioni, inoltre, la profondità del profilo varia a se-

conda delle condizioni microambientali generate dal livello della falda freatica che, a sua volta, data la permeabilità del substrato, varia secondo i livelli dell'acqua del Ticino. La zona più soggetta a fenomeni di inondazione nei periodi di piena del fiume è la fascia depressa limitrofa al canale.

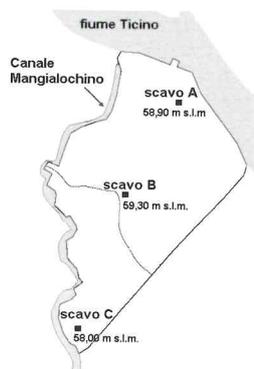


Fig. 1 - Schema della Riserva Naturale Integrale "Bosco Siro Negri" con localizzazione e quota degli scavi, realizzati per il campionamento dei suoli.

Le condizioni climatiche della zona sono caratterizzate da una piovosità media annua (calcolata sulla base di 139 anni) pari a 80,2 mm ed una temperatura media annua (sulla base di 51 anni) di 12,3°C.

Il tracciato del Bosco è segnato dalle fitte e mature pioppete colturali monofitiche caratterizzate dalla regolarità di disposizione degli alberi. La struttura della vegetazione è complicata: uno strato arboreo che raggiunge l'altezza media di circa 25 m sotto il quale se ne distingue uno di alberi meno alti e più giovani, uno di piante arborescenti, uno di arbusti alti e bassi più o meno intrecciati ed, infine, uno strato erbaceo la cui altezza può raggiungere quella degli arbusti bassi. Dal punto di vista fitosociologico si distinguono due tipi fondamentali: il primo definito pioppeto (dominanza di *Populus alba* associato a *P. nigra*, *Ulmus minor*, *Acer campestre*, *Quercus robur*, *Prunus padus* nello strato arboreo, alto e basso arbustivo, ed *Equisetum hyemale*, *E. palustre*, *Athyrium filix-foemina* e *Symphytum officinale* nello strato erbaceo) si sviluppa soprattutto

verso gli avvallamenti a lato e parallelamente al canale dove la falda freatica è più superficiale e determina condizioni ecologiche tali da favorire le specie di sottobosco. Il secondo tipo, definito querceto misto (mancanza di *Populus alba* nello strato arboreo e delle specie igrofile del sottobosco del pioppeto; maggiore abbondanza di *Quercus robur*, *Acer campestre*, *Ulmus minor* e *Populus nigra*, *Corylus avellana* e *Prunus padus*; *Malus sylvestris*, *Ligustrum vulgare* nello strato alto e basso arbustivo; le lianose *Hedera helix*, *Lonicera caprifolium* e *Vitis vinifera*; *Anemone nemorosa* ed *Equisetum hyemale* nello strato erbaceo diffusi in tutto il sottobosco) è il più esteso.

Il pioppeto ed il querceto misto sono i meno disturbati e risultano chiaramente dalla differente profondità della falda freatica. Segno evidente di un certo disturbo antropico sono le specie *Alliaria petiolata*, *Capsella bursa-pastoris*, *Sambucus ebulus*, *Phytolacca americana*, *Urtica dioica*, *Galeopsis tetrahit*, *Erigeron annuus*, *Bidens tripartita*, *Lapsana communis* mentre, segno di marcato degrado è la presenza di *Robinia pseudacacia*, specie che caratterizza un aspetto del querceto misto localizzato nella parte Sud Ovest.

Per il campionamento dei suoli, nel contesto boschivo, sono stati effettuati 3 scavi nel mese di giugno del 2005:

1. scavo A: situato a Nord-Est al confine con il fiume Ticino (58,90 m s.l.m.); larghezza 1 m, lunghezza 2 m e profondità 1,10 m; strato arboreo caratterizzato da *Quercus robur* e *Robinia pseudacacia*;

2. scavo B: situato nella parte centrale, vicino al sentiero che congiunge il lato Ovest (adiacente al canale Mangialochino) al lato Sud-Est (59,30 m s.l.m.); larghezza 1 m, lunghezza 2 m e profondità 1,25 m; strato arboreo caratterizzato da *Quercus robur*, *Robinia pseudacacia* e *Acer campestre*.

3. scavo C: situato nella zona Sud-Ovest al confine con il canale Mangialochino (58,00 m s.l.m.); larghezza 1 m, lunghezza 2 m e profondità 1,25 m; strato arboreo caratterizzato da *Quercus robur*, *Crataegus monogyna*, *Populus nigra*, *Ulmus minor* e *Malus sylvestris*.

I tre scavi, rappresentati in Figura 1 e pre-

SCAVO A	Campione	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7 - FONDO SCAVO	
	Profondità	10 cm	25 cm	40 cm	55 cm	70 cm	85 cm	110 cm	
SCAVO B	Campione	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8 - FONDO SCAVO
	Profondità	10 cm	25 cm	40 cm	55 cm	70 cm	85 cm	100 cm	125 cm
SCAVO C	Campione	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8 - FONDO SCAVO
	Profondità	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	75 cm	90 cm	105 cm	125 cm

Tab. 1 - Sigla e profondità di prelievo dei campioni sottoposti all'indagine.

cedentemente descritti, sono stati utilizzati per il campionamento dei suoli, mediante carotaggio alle diverse profondità, allo scopo di determinare le concentrazioni in attività dei singoli radionuclidi negli orizzonti del profilo pedologico e le eventuali migrazioni verticali ed orizzontali, in funzione delle caratteristiche chimico-fisiche. Nello scavo A sono stati prelevati 6 campioni, alle profondità descritte in Tabella 1 ed uno sul fondo dello scavo alla profondità di 110 cm; negli scavi B e C, 7 campioni a diversa profondità ed uno sul fondo dello scavo a 125 cm; di tutti i campioni sono stati raccolti circa



Figura 2 a: Fotografia dello scavo A

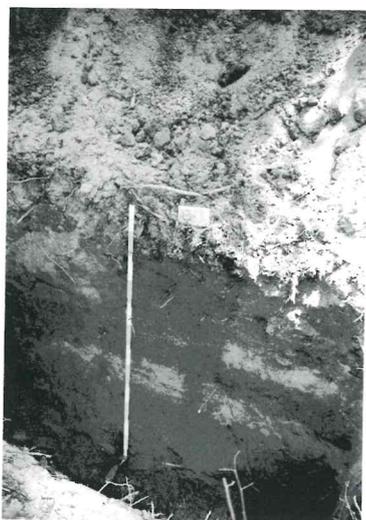


Figura 2 b: Fotografia dello scavo B



Figura 2 c: Fotografia dello scavo C

300 g, conservati in contenitori di PE da 500 g.

3. Caratteristiche chimico-fisiche del suolo

Di seguito si riportano i risultati relativi alle indagini chimico-fisiche condotte sui suoli.

3.1 Tessitura

Le migrazioni sia orizzontali che verticali e le rispettive velocità di migrazione, di alcuni radionuclidi come il ^{137}Cs , sono influenzate dall'assorbimento irreversibile su alcune particelle che costituiscono il suolo, in particolar modo quelle di diametro inferiore a $2\ \mu\text{m}$ (argilla). Contrariamente, le particelle più grandi, ricche di minerali di quarzo, non svolgono un ruolo significativo nell'assorbimento del ^{137}Cs (Staunton, 1997). La composizione percentuale di particelle elementari, aventi diametro inferiore a 2 mm (sabbia, limo ed argilla) è definita tessitura del suolo, parametro molto importante per le indagini sulla radioattività ambientale.

La suddivisione di tali particelle non risulta attualmente unificata, pertanto si verificano differenze, anche significative, a seconda del sistema di classificazione utilizzato.

In questo lavoro, per la valutazione globale della composizione fisico-meccanica del suolo, sono stati utilizzati i "triangoli delle tessiture" proposti dall'ISSS (International Soil Science Society).

I metodi utilizzati per la separazione delle particelle di diverso diametro sono: la vagliatura a secco, con setacciatore meccanico e setacci a luce decrescente verso il basso ($2\ \text{mm}$, $200\ \mu\text{m}$, $50\ \mu\text{m}$ e $20\ \mu\text{m}$) e l'analisi granulometrica mediante Diffrazione Laser (Particle Size Analysis – Laser Diffraction System), per determinare la frazione di particel-

le di diametro inferiore a 20 μm . Con questa strumentazione è possibile determinare la percentuale in volume delle particelle di diametro compreso tra 0,2 e 44 μm .

Nelle seguenti tabelle e grafici (Tab. 2-4 e Fig. 3-5) si riportano le composizioni percentuali di

sabbia, limo ed argilla alle diverse profondità nei tre scavi e la classificazione dei suoli secondo i triangoli delle tessiture proposti dell'ISSS.

I campioni prelevati nello scavo A sono ricchi di sabbia (frazione di diametro compreso tra 2 mm e 50 μm) ad eccezione del più superficiale che, pre-

Profondità (sigla campione)	Composizione %			TESSITURA
	Sabbia	Limo	Argilla	
10 cm (A1)	63,9	35,5	0,6	Sabbioso-Limoso
25 cm (A2)	81,3	17,6	0,4	Sabbioso
40 cm (A3)	87,3	11,6	0,3	Sabbioso
55 cm (A4)	88,0	11,2	0,2	Sabbioso
70 cm (A5)	79,2	19,3	0,6	Sabbioso
85 cm (A6)	75,6	18,8	0,3	Sabbioso
110 cm (A7)	81,7	13,7	0,4	Sabbioso

Tab. 2 - Composizione percentuale dei campioni prelevati nello scavo A e tessitura.

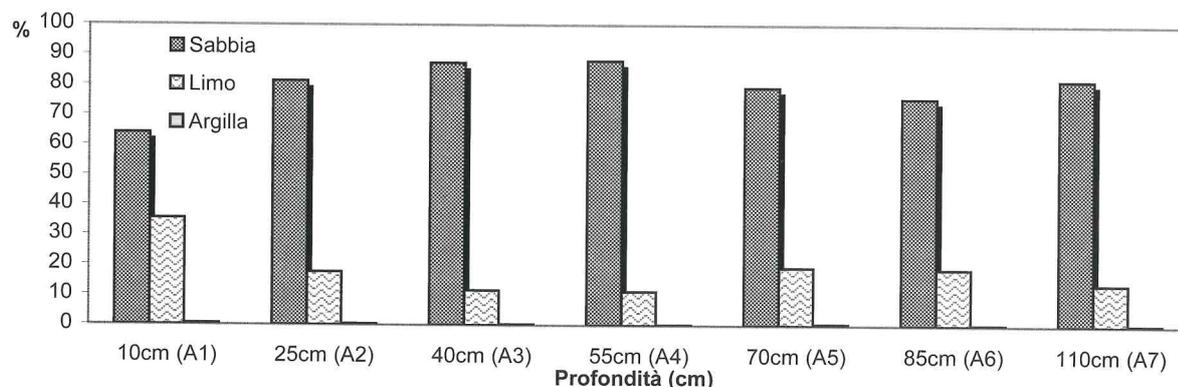


Fig. 3 - Percentuali delle tre componenti (sabbia, limo e argilla), alle diverse profondità, nei campioni dello scavo A.

Profondità (sigla campione)	Composizione %			TESSITURA
	Sabbia	Limo	Argilla	
10 cm (B1)	79,5	17,1	0,2	Sabbioso
25 cm (B2)	70,5	13,3	0,3	Sabbioso
40 cm (B3)	80,2	5,9	0,1	Sabbioso
55 cm (B4)	78,6	19,9	0,5	Sabbioso
70 cm (B5)	95,9	2,8	0,1	Sabbioso
85 cm (B6)	70,7	27,9	0,4	Sabbioso
100 cm (B7)	84,9	14,1	0,2	Sabbioso
125 cm (B8)	75,9	21,7	0,1	Sabbioso

Tab. 3 - Composizione percentuale dei campioni prelevati nello scavo B e tessitura.

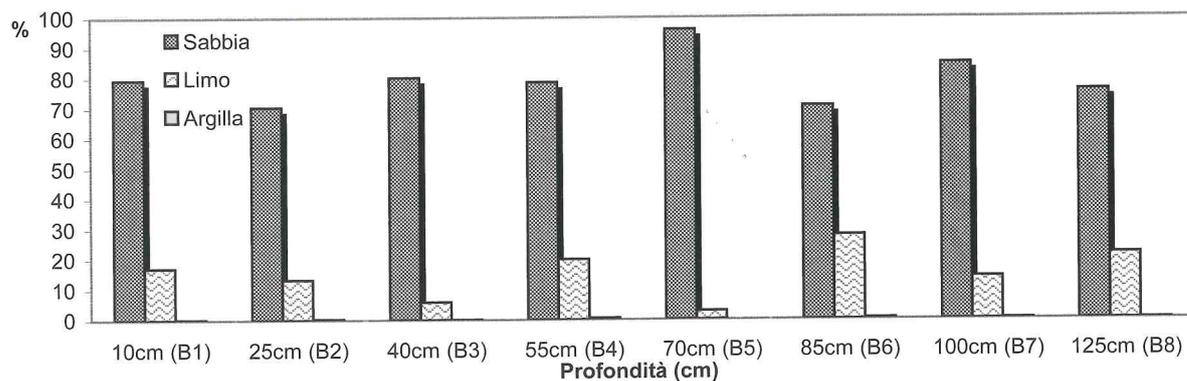


Fig. 4 - Percentuali delle tre componenti (sabbia, limo e argilla), alle diverse profondità, nei campioni dello scavo B.

Profondità (sigla campione)	Composizione %			TESSITURA
	Sabbia	Limo	Argilla	
15 cm (C1)	55,6	28,1	0,8	Sabbioso
30 cm (C2)	82,1	15,8	0,5	Sabbioso
45 cm (C3)	94,4	4,4	0,1	Sabbioso
60 cm (C4)	52,8	42,1	0,9	Sabbioso-Limoso
75 cm (C5)	69,8	28,7	0,6	Sabbioso
90 cm (C6)	40,8	54,3	0,8	Limoso-Sabbioso
105 cm (C7)	39,5	56,2	1,0	Limoso-Sabbioso
125 cm (C8)	72,8	20,8	0,2	Sabbioso

Tab. 4 - Composizione percentuale dei campioni prelevati nello scavo C e tessitura.

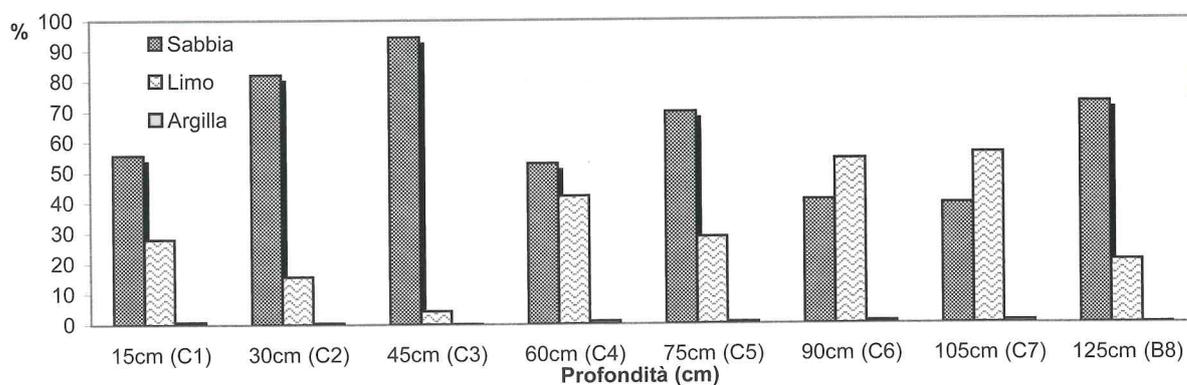


Fig. 5 - Percentuali delle tre componenti (sabbia, limo e argilla), alle diverse profondità, nei campioni dello scavo C.

sentando una più significativa percentuale di limo, ha tessitura sabbioso - limosa. La maggiore percentuale di sabbia in questo scavo è stata determinata alla profondità di 55 cm (88%). Tutti i campioni del

lo scavo B sono di tipo sabbioso mentre, alle diverse profondità dello scavo C si possono osservare percentuali variabili di sabbia e limo, queste differenze sono da attribuire alle numerose modificazioni del

profilo geopedologico associate all'innalzamento della falda ed alle inondazioni, nei periodi di piena, da parte delle acque del canale Mangialochino.

Nello scavo B, la maggiore percentuale di sabbia si osserva alla profondità di 70 cm mentre, nello scavo C, sino a 75 cm di profondità prevale la sabbia, la cui maggiore percentuale è stata determinata a 45 cm di profondità; tra 90 e 105 cm è di poco superiore al 50% la percentuale di limo, pertanto la tessitura del suolo è di tipo limoso - sabbioso.

Di seguito, per ogni scavo, sarà nominato strato S la profondità di campionamento alla quale è maggiore il contenuto di Sabbia.

3.2 Densità

La densità è una delle proprietà fisiche più importanti del suolo e dipende dalle caratteristiche costituzionali delle componenti di natura inorganica ed organica. I valori tipici di densità per la frazione inorganica del suolo variano da 2,4 a 2,9 g cm⁻³ (Rühlmann et al., 2006).

La densità del suolo nelle tre stazioni di campionamento, determinata con il metodo proposto

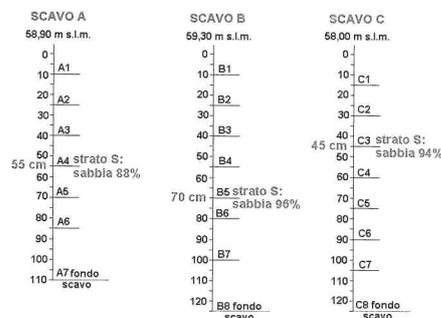
dalla Società Italiana della Scienza del Suolo (Società Italiana della Scienza del Suolo, 1985), presenta delle variazioni poco significative, con valore minimo pari a 2,4 g cm⁻³ (scavo A - strato superficiale) e massimo 3,1 g cm⁻³ (scavo B - 40 cm di profondità); il valor medio è pressoché costante negli scavi e pari a circa 2,9 g cm⁻³.

3.3 Umidità

Di seguito (Tab. 5÷7 e Fig. 7÷9) si riportano i risultati relativi all'andamento dell'umidità percentuale, determinata secondo i criteri stabiliti dalla Società Italiana della Scienza del Suolo (Società Italiana della Scienza del Suolo, 1985), nel profilo pedologico dei tre scavi.

I suoli prelevati nei tre scavi hanno bassa umidità percentuale, con valori massimi compresi tra 1,6% (scavo A) e 1,2% (scavo B) mentre, i valori inferiori si registrano nello strato S. L'andamento, all'aumentare della profondità nei tre profili, risulta alquanto differente; lo scavo A, confinante con il fiume Ticino, mostra maggiore umidità nello strato superficiale mentre lo scavo C, localizzato nella

Fig. 6 - Schema del profilo pedologico dei tre scavi, in evidenza la profondità alla quale è stata determinata la maggiore percentuale di sabbia (stato S).



Profondità	10 cm (A1)	25 cm (A2)	40 cm (A3)	55 cm (A4)	70 cm (A5)	85 cm (A6)	110 cm (A7)
U%	1,6	0,8	0,8	0,4	0,8	0,6	0,4

Tab. 5 - Umidità percentuale nel profilo pedologico dello scavo A.

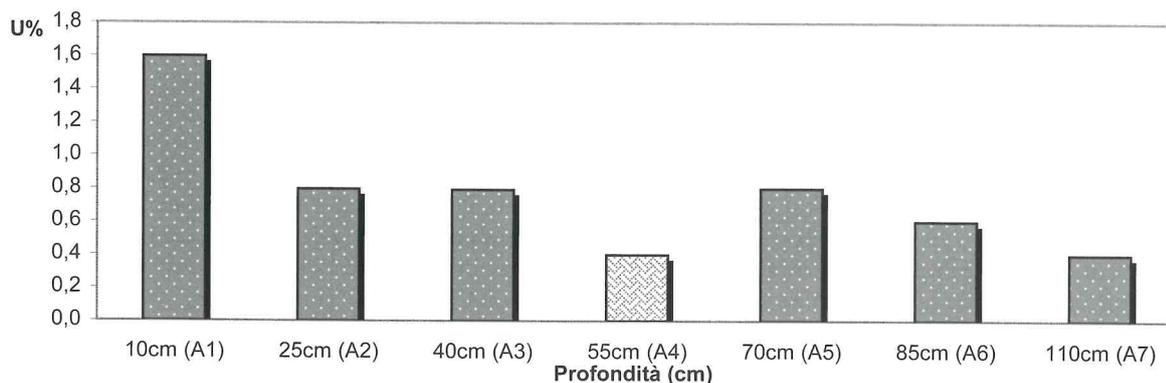


Fig. 7 - Andamento percentuale dell'umidità nei campioni dello scavo A.

Profondità	10 cm (B1)	25 cm (B2)	40 cm (B3)	55 cm (B4)	70 cm (B5)	85 cm (B6)	100 cm (B7)	125 cm (B8)
U%	1,2	0,8	0,8	0,8	0,4	0,8	1,0	1,2

Tab. 6 - Umidità percentuale nel profilo pedologico dello scavo B.

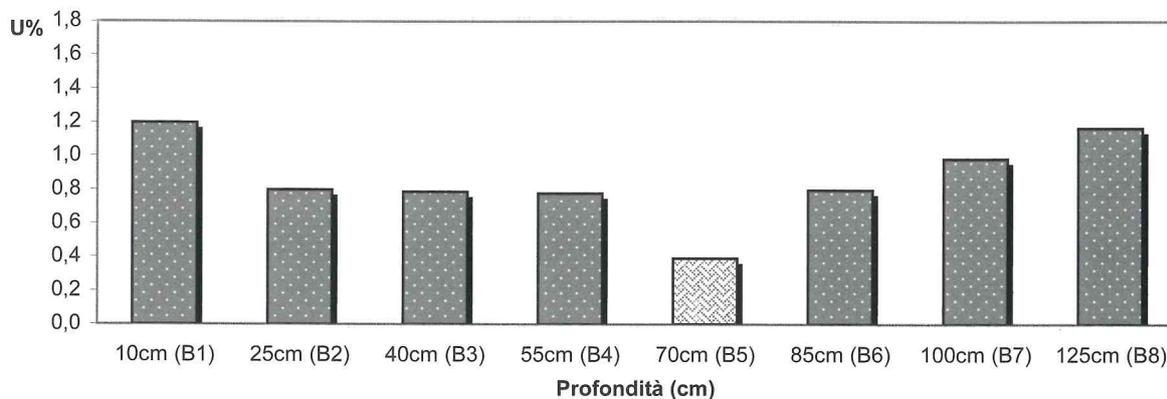


Fig. 8 - Andamento percentuale dell'umidità nei campioni dello scavo B.

Profondità	15 cm (C1)	30 cm (C2)	45 cm (C3)	60 cm (C4)	75 cm (C5)	90 cm (C6)	105 cm (C7)	125 cm (C8)
U%	1,4	0,6	0,2	1,0	0,8	1,2	1,4	0,8

Tab. 7 - Umidità percentuale nel profilo pedologico dello scavo C.

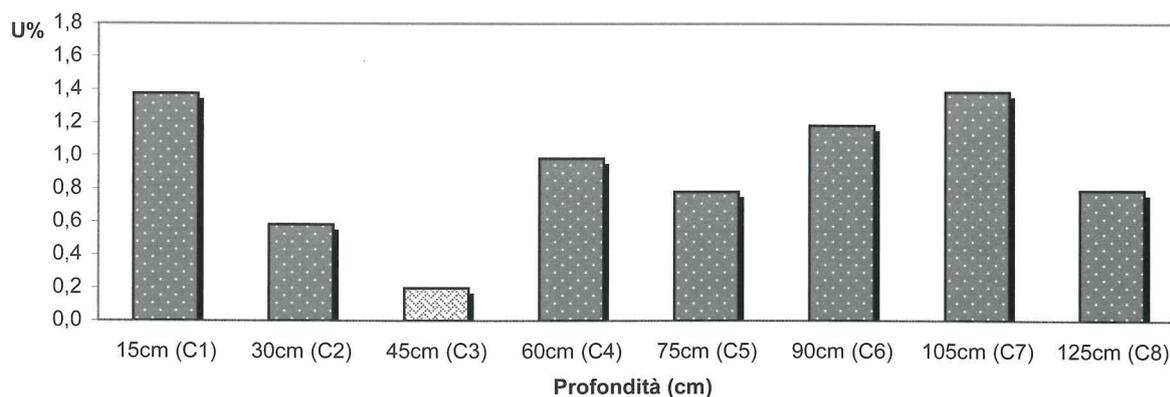


Fig. 9 - Andamento percentuale dell'umidità nei campioni dello scavo C.

zona depressa ed influenzato sia dall'altezza della falda sia dalle acque del confinante canale, presenta un andamento più irregolare con un progressivo aumento dell'umidità dalla profondità di 60 cm al fondo dello scavo. Nello scavo B si ha valore pressoché costante da 25 cm a 55 cm, una più significativa diminuzione in corrispondenza dello strato S ed un ripristino graduale del valore superficiale in corrispondenza del fondo scavo.

3.4 pH

Questo parametro può contribuire in modo

significativo al trasferimento di alcuni radionuclidi nel profilo pedologico del suolo ed in particolare modo nel trasferimento di questi dalla soluzione del suolo alle specie vegetali (Van Bergeijk et al., 1992). Inoltre, un suolo acido favorisce lo sviluppo di microflora fungina a discapito di quella batterica e, come si evince dalla letteratura (Bargagli, 1998), alcune specie fungine non solo accumulano ma rilasciano molto lentamente il ^{137}Cs costituendo la maggiore riserva, nel suolo, di questo radionuclide. Per quanto riguarda le altre caratteristiche chimico-fisiche della matrice suolo, un pH acido rallen-

ta i processi di decomposizione e mineralizzazione della sostanza organica (Motavalli et al., 1995), favorendone l'accumulo negli orizzonti del profilo pedologico e, associato a questo, la conseguente immobilizzazione di ^{137}Cs (Staunton et al., 2002).

La determinazione sperimentale del pH del suolo è stata eseguita per via potenziometrica⁴ su sospensioni suolo - acqua e suolo - soluzione salina di KCl (Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, 2000). Il primo valore è rappresentativo dell'acidità attuale che, pur non rispecchiando il pH in campo, è indicativo della reazione del sistema mentre il secondo rappresenta l'acidità potenziale in quanto, i cationi del sale - K^+ - mobilizzano gli ioni acidi scambiabili, dando luogo ad una soluzione in equilibrio, di acidità tanto maggiore quanto maggiore è l'acidità potenziale del campione; quest'ultimo valore è maggiormente correlato al grado di saturazione ed alla natura del complesso di scambio. Di seguito si riportano tabelle e grafici (Tab. 8÷10 e Fig. 10÷12) relativi a ciascuna stazione di campionamento.

Le indagini hanno evidenziato che il pH inferiore, in acqua ed in soluzione salina, riguarda lo strato più superficiale (10-15 cm di profondità). Nel profilo dello scavo A non si osservano variazioni significative; il pH maggiore per la sospensione suolo

Il pH nello scavo B aumenta sino allo strato S, in modo più rilevante in soluzione salina (da 4,4 a 7,1) rispetto alla soluzione acquosa (da 4,4 a 6,0) e diminuisce nuovamente da questa profondità al fondo scavo. Per lo scavo C si ha un andamento simile nonostante vi sia una differenza meno accentuata tra il pH in sospensione acquosa e salina.

3.5 Capacità di Scambio Cationico (CSC) (Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, 2000)

La capacità di scambio cationico⁵ fornisce informazioni sulle caratteristiche chimico-fisiche e strutturali delle fasi colloidali del suolo, infatti, dipende in modo significativo dalla quantità di argilla e sostanze umiche. Le componenti inorganiche del suolo, ad esempio il quarzo, hanno una bassa CSC mentre la sostanza organica può contribuire in modo significativo alla capacità di scambio cationico. In letteratura, si riporta il caso del ^{137}Cs per il quale la sostanza organica, pur non incrementando direttamente l'assorbimento, se associata ad argilla, può influenzare in modo rilevante la biodisponibilità di questo radionuclide, rendendo sfavorevole la migrazione e favorendone la persistenza nell'ambiente (Fig.13).

Inoltre, l'importanza della determinazione di questo parametro risiede nel fatto che l'assorbimen-

Profondità	10 cm (A1)	25 cm (A2)	40 cm (A3)	55 cm (A4)	70 cm (A5)	85 cm (A6)	110 cm (A7)
pH in H ₂ O	4,7±0,1	5,0±0,3	5,5±0,3	5,8±0,1	5,4±0,1	5,5±0,1	5,3±0,1
pH in KCl	4,4±0,1	5,7±0,2	5,6±0,2	6,1±0,1	6,1±0,1	6,2±0,2	6,2±0,2

Tab. 8 - Acidità attuale (pH della sospensione suolo - acqua) e potenziale (pH della sospensione suolo - soluzione salina) nello scavo A.

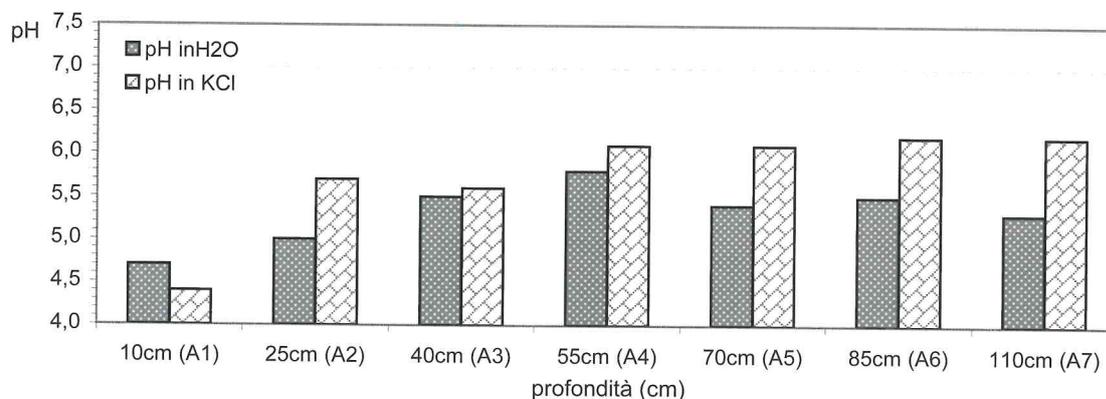


Fig. 10 - Acidità attuale e potenziale nel profilo pedologico dello scavo A.

- acqua, circa 6, è stato misurato nello strato S ed in sospensione salina da questa profondità sino al fondo scavo è pressoché costante e di poco superiore a 6.

to di Cs ai costituenti del suolo è un fenomeno di scambio ionico.

Si esprime in centimoli di carica in un chilogrammo di suolo (cmol kg^{-1}). Si ritiene alta la CSC

Profondità	10 cm (B1)	25 cm (B2)	40 cm (B3)	55 cm (B4)	70 cm (B5)	85 cm (B6)	100 cm (B7)	125 cm (B8)
pH in H ₂ O	4,4±0,1	4,9±0,1	5,2±0,1	5,5±0,1	6,0±0,1	5,8±0,1	5,7±0,1	5,4±0,1
pH in KCl	4,4±0,1	5,4±0,1	6,6±0,1	6,7±0,1	7,1±0,1	5,2±0,1	5,2±0,1	4,8±0,1

Tab. 9 - Acidità attuale (pH della sospensione suolo – acqua) e potenziale (pH della sospensione suolo – soluzione salina) nello scavo B.

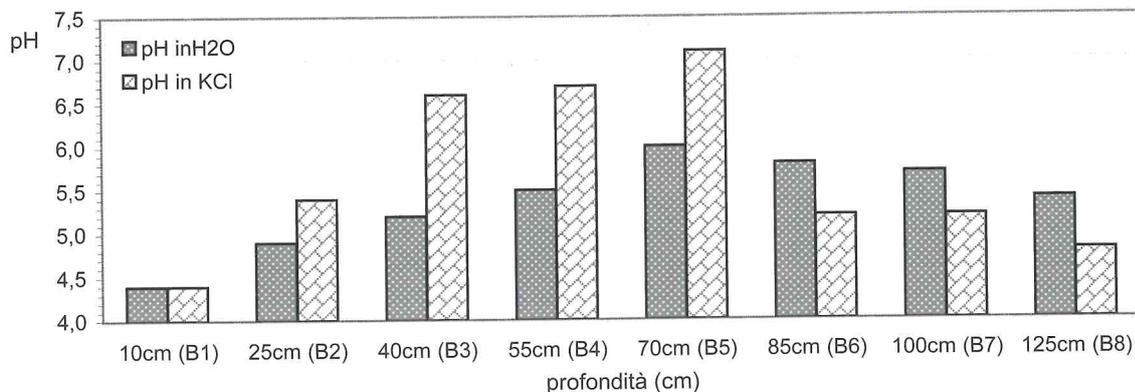


Fig. 11 - Acidità attuale e potenziale nel profilo pedologico dello scavo B.

Profondità	15 cm (C1)	30 cm (C2)	45 cm (C3)	60 cm (C4)	75 cm (C5)	90 cm (C6)	105 cm (C7)	125 cm (C8)
pH in H ₂ O	4,9±0,1	5,8±0,1	6,2±0,1	6,0±0,1	6,2±0,1	5,8±0,1	5,6±0,1	5,6±0,1
pH in KCl	4,4±0,1	6,0±0,1	6,9±0,1	5,5±0,1	6,1±0,1	5,4±0,1	5,2±0,1	5,5±0,1

Tab. 10 - Acidità attuale (pH della sospensione suolo – acqua) e potenziale (pH della sospensione suolo – soluzione salina) nello scavo C.

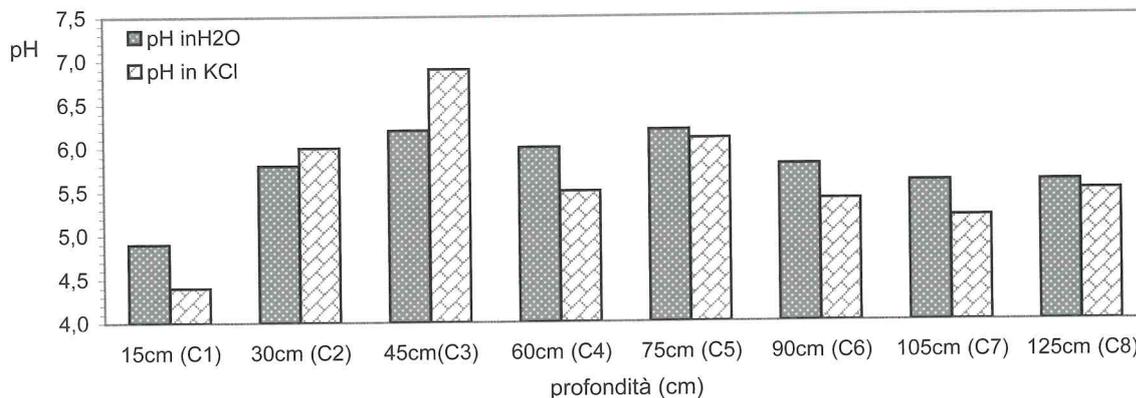


Fig. 12 - Acidità attuale e potenziale nel profilo pedologico dello scavo C.

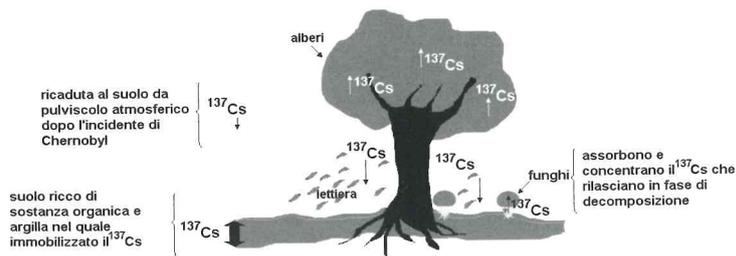


Fig. 13 - Rappresentazione schematica della biodisponibilità di ¹³⁷Cs in un suolo ricco di sostanza organica e argilla. La quantità di sostanza organica e argilla dello strato superficiale del suolo può influenzare la reazione di scambio cationico e pertanto, la migrazione del ¹³⁷Cs.

di un suolo se maggiore di $20 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$, media se compresa tra 10 e $20 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$, bassa se inferiore a $10 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$.

Come si accennava nella presentazione dei risultati relativi al pH, la CSC ed il pH in soluzione salina sono correlate, in quanto tale pH è indicativo del grado di saturazione e della natura del complesso di scambio.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per il profilo pedologico dei tre scavi (Tab. 11÷13 e Fig. 14÷16).

Il valore più elevato di CSC si ha nello strato più superficiale dello scavo A ($27,3 \text{ cmol kg}^{-1}$); nel

profilo pedologico di questo scavo anche il valore inferiore ($7,83 \text{ cmol kg}^{-1}$), registrato nello strato S per tutti e tre gli scavi, risulta comunque superiore rispetto ai valori inferiori degli altri due scavi, circa 5 cmol kg^{-1} , negli scavi B e C.

3.6 Carbonio Organico e Sostanza Organica (Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, 2000)

Come accennato precedentemente, pur non essendo ancora del tutto noti i meccanismi, secondo i quali suoli con elevato contenuto di argilla sono caratterizzati, a parità di altre condizioni, da più elevata quantità di sostanza organica, risulta evidente

Profondità	10 cm (A1)	25 cm (A2)	40 cm (A3)	55 cm (A4)	70 cm (A5)	85 cm (A6)	110 cm (A7)
CSC (cmol kg^{-1})	$27,3 \pm 1,2$	$11,4 \pm 2,9$	$9,6 \pm 1,2$	$7,8 \pm 0,8$	$11,7 \pm 0,9$	$13,8 \pm 2,1$	$10,0 \pm 1,7$

Tab. 11 - Andamento della capacità di scambio cationico nel profilo pedologico dello scavo A.

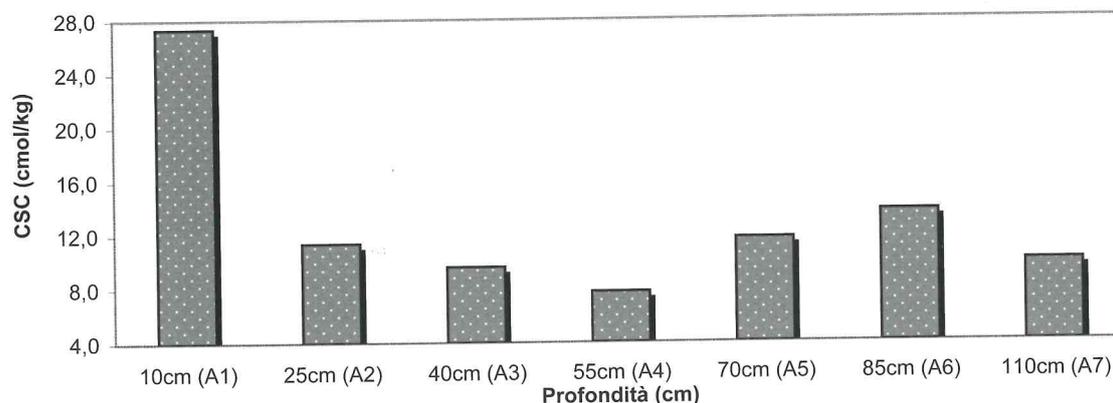


Fig. 14 - Capacità di scambio cationico alle diverse profondità nello scavo A.

Profondità	10 cm (B1)	25 cm (B2)	40 cm (B3)	55 cm (B4)	70 cm (B5)	85 cm (B6)	100 cm (B7)	125 cm (B8)
CSC (cmol kg^{-1})	$23,7 \pm 0,5$	$14,7 \pm 0,5$	$9,9 \pm 1,2$	$10,0 \pm 0,5$	$4,8 \pm 0,5$	$11,7 \pm 1,8$	$10,8 \pm 0,6$	$17,3 \pm 0,6$

Tab. 12 - Andamento della capacità di scambio cationico nel profilo pedologico dello scavo B.

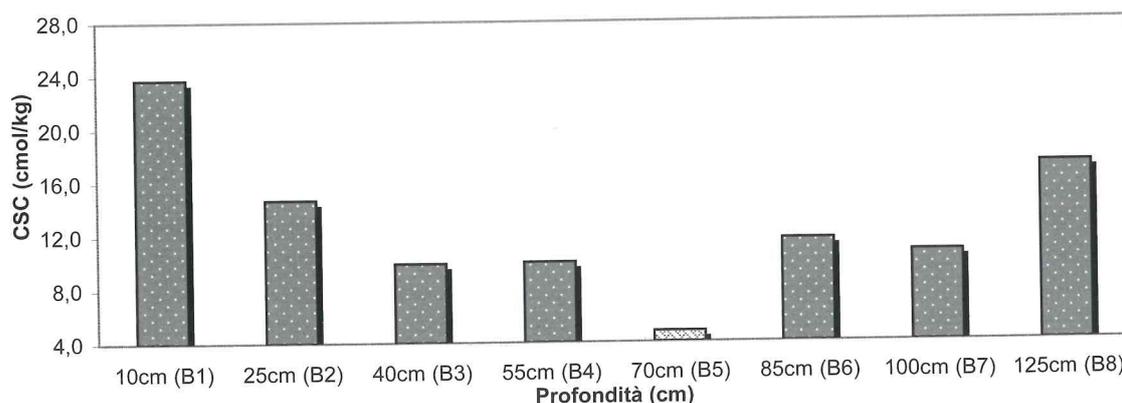


Fig. 15 - Capacità di scambio cationico alle diverse profondità nello scavo B.

Profondità	15 cm (C1)	30 cm (C2)	45 cm (C3)	60 cm (C4)	75 cm (C5)	90 cm (C6)	105 cm (C7)	125 cm (C8)
CSC (cmol kg ⁻¹)	22,6±0,7	7,4±0,4	5,1±1,0	13,5±0,5	9,0±1,6	14,0±1,2	14,5±0,8	13,4±0,5

Tab. 13 - Andamento della capacità di scambio cationico nel profilo pedologico dello scavo C.

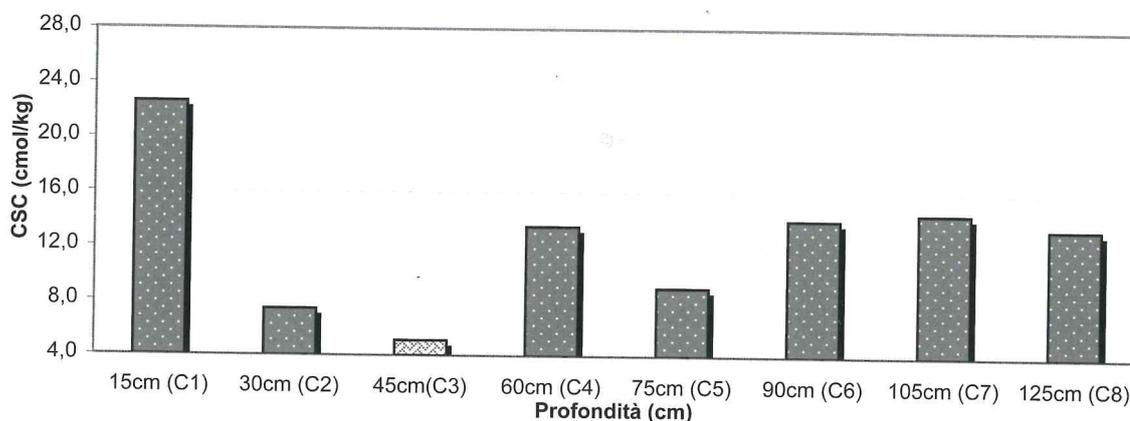


Fig. 16 - Capacità di scambio cationico alle diverse profondità nello scavo C.

una relazione tra tessitura e dotazione di sostanza organica del suolo. L'argilla esercita un'azione di protezione sia chimica che fisica nei confronti dei costituenti organici parzialmente decomposti e di quelli labili, rallentandone la decomposizione. Pertanto, un elevato contenuto percentuale di argilla, a parità di altre condizioni, potrebbe implicare un più elevato contenuto di sostanza organica. Inoltre, la quantità di sostanza organica è influenzata dalla temperatura e dalla piovosità; basse temperature rendono sfavorevole il processo di mineralizzazione della sostanza organica, mentre un aumento della piovosità comporta un aumento della quantità di residui vegetali che arrivano al suolo. La sostanza organica può avere un ruolo importante nella pedogenesi ed influenzare, in modo determinante, molte proprietà chimiche e fisiche del suolo. Infatti, soprattutto mediante le sue componenti umiche, contribuisce in modo rilevante a determinare la capacità di scambio e la capacità tampone del suolo nei confronti dei cambiamenti di pH. Pertanto, la determinazione del contenuto di sostanza organica ed il suo andamento all'interno del profilo pedologico, risulta di notevole interesse per la valutazione dell'assorbimento e dell'eventuale trasporto di sostanze inquinanti ed, in particolar modo, per le contaminazioni radioattive (Staunton et al., 2002; Arapis & Karandinos, 2004; Rezzoug et al., 2002). La determinazione di questo parametro, pertanto, può contribuire in modo significativo alla caratterizzazione ed allo studio del profilo pedologico del suolo nella Riserva Naturale Integrale, nell'ambito delle indagini radiometriche.

Per la determinazione del contenuto di Carbonio organico è stato utilizzato il metodo Walkley-Black⁶. Il contenuto di Carbonio organico è in stret-

ta relazione con la sostanza organica, nonostante quest'ultima sia caratterizzata da un elevato grado di variabilità.

La determinazione diretta della sostanza organica per calcinazione è poco precisa e soggetta a diversi fattori d'errore per questo si determina sulla base del contenuto di Carbonio organico. Data la notevole variabilità nella composizione della sostanza organica (diverse sostanze umificate e non umificate a vario grado trasformazione, residui vegetali, biomasse viventi, ecc.) è difficile trovare un fattore di conversione universale tra Carbonio organico e sostanza organica. Per convenzione si utilizza il "fattore di Van Bemmelen" (pari a 1,724)⁷ che si basa sull'assunto che il Carbonio rappresenti mediamente il 58% della composizione elementare della sostanza organica del suolo.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dalle indagini sui campioni prelevati nelle tre stazioni (Tab. 14÷16 e Fig. 17÷19).

I risultati mostrano chiaramente che la maggiore quantità di sostanza organica si ha nello strato più superficiale dove si concentrano i residui vegetali ed animali parzialmente decomposti, in via di trasformazione, la biomassa degli organismi viventi, i materiali di neogenesi di natura complessa e struttura chimica non ancora ben definita, meno suscettibili di decomposizione (sostanze umiche). A maggiore profondità si ha un progressivo impoverimento, sino a raggiungere il valore minimo che per tutti e tre gli scavi si raggiunge nello strato S.

L'aumento della quantità di sostanza organica sul fondo dello scavo per le stazioni di campionamento B e C, probabilmente, non è da attribuire ad un arricchimento del suolo bensì alla ricaduta di

Profondità	10 cm (A1)	25 cm (A2)	40 cm (A3)	55 cm (A4)	70 cm (A5)	85 cm (A6)	110 cm (A7)
C ORG (g kg⁻¹)	14,0±1,2	4,3±0,2	1,7±0,4	1,10±0,02	1,5±0,1	1,5±0,1	3,0
S ORG (g kg⁻¹)	24,1±2,1	7,5±0,4	3,0±0,6	1,90±0,04	2,5±0,1	2,6±0,2	5,3

Tab. 14 - Andamento del Carbonio organico e della sostanza organica nello scavo A.

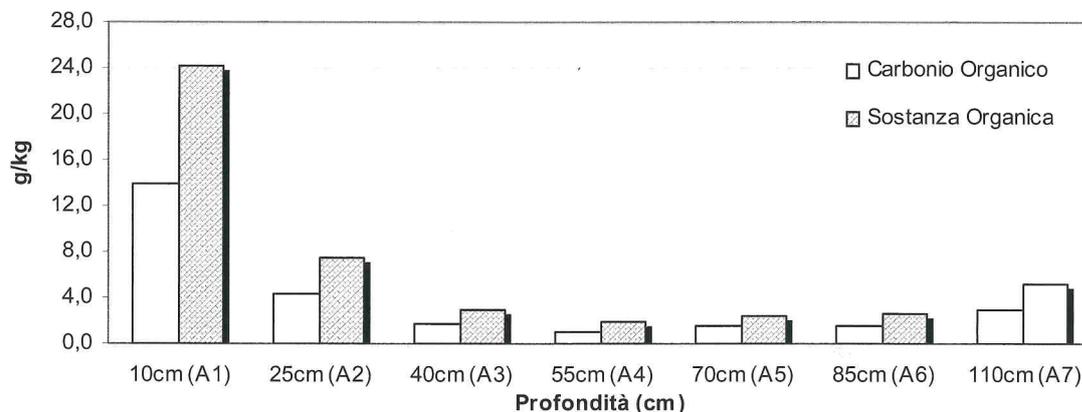


Figura 17: Istogramma che mostra C organico e sostanza organica, alle diverse profondità, nello scavo A.

Profondità	15 cm (C1)	30 cm (C2)	45 cm (C3)	60 cm (C4)	75 cm (C5)	90 cm (C6)	105 cm (C7)	125 cm (C8)
C ORG* (g kg⁻¹)	13,5±1,0	1,9±0,1	0,5±0,1	3,10±0,03	2,3±0,1	5,1±0,3	4,4±0,6	7,8
S ORG* (g kg⁻¹)	23,3±1,8	3,3±0,2	0,9±0,1	5,30±0,05	3,9±0,2	8,8±0,5	7,7±1,1	13,5

Tab. 15 - Andamento del Carbonio organico e della sostanza organica nello scavo B.

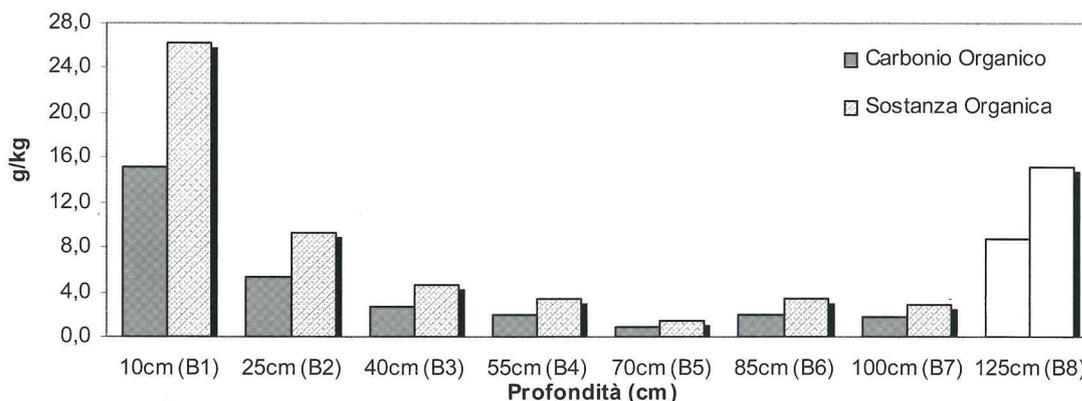


Figura 18: Istogramma che mostra C organico e sostanza organica, alle diverse profondità, nello scavo B.

Profondità	15 cm (C1)	30 cm (C2)	45 cm (C3)	60 cm (C4)	75 cm (C5)	90 cm (C6)	105 cm (C7)	125 cm (C8)
C ORG* (g kg⁻¹)	13,5±1,0	1,9±0,1	0,5±0,1	3,10±0,03	2,3±0,1	5,1±0,3	4,4±0,6	7,8
S ORG* (g kg⁻¹)	23,3±1,8	3,3±0,2	0,9±0,1	5,30±0,05	3,9±0,2	8,8±0,5	7,7±1,1	13,5

Tab. 16 - Andamento del Carbonio organico e della sostanza organica nello scavo C.

materiale dagli strati superficiali, in fase di realizzazione dello scavo, pertanto si ritiene questo risultato poco significativo.

4. Conclusioni

I suoli prelevati nelle tre stazioni di campio-

namento realizzate nel mese di giugno del 2005, nella Riserva Naturale Integrale "Bosco Siro Negri", mostrano tessitura prevalentemente sabbiosa con discreta percentuale di limo negli strati più profondi (90-100 cm di profondità) della zona Sud-Ovest confinante con il canale Mangialochino e densità

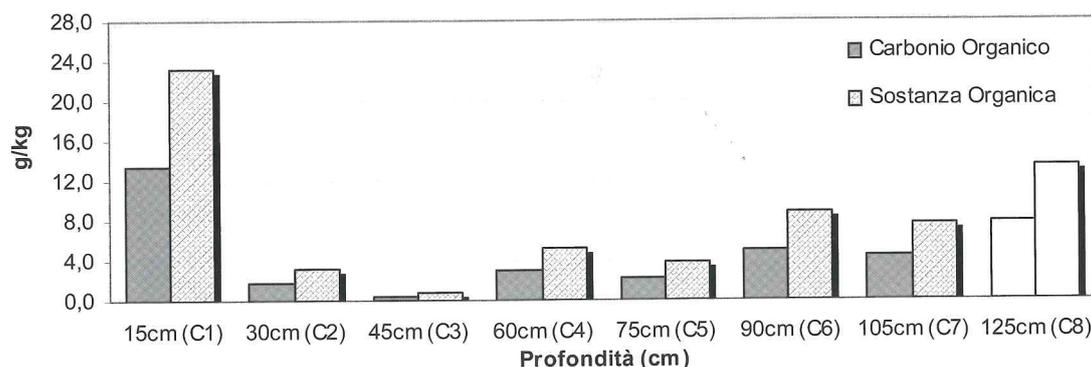


Figura 19: Istogramma che mostra C organico e sostanza organica, alle diverse profondità, nello scavo C.

media di $2,9 \text{ g cm}^{-3}$, valore indicativo dell'elevato contenuto della frazione inorganica rispetto alla componente organica; il valore inferiore di questo parametro è stato determinato nello strato più superficiale dello scavo situato a Nord-Est e caratterizzato da tessitura sabbioso-limosa. L'umidità percentuale è compresa tra l'1 ed il 2% con valore minimo (circa $0,2 \div 0,4$) alla profondità in cui è maggiore la percentuale di sabbia (strato S: 55 cm per lo scavo A, 70 cm per lo scavo B, 45 cm per lo scavo C). In tutti e tre gli scavi l'acidità maggiore riguarda lo strato più superficiale (10÷15 cm di profondità) mentre, procedendo negli strati più profondi si osserva una progressiva diminuzione, con valori di pH compresi tra 5 e 6 per lo scavo A, da 5 a 7 (pH neutro) per gli scavi B e C. Il pH più alto, pertanto la minore acidità, è stato determinato in corrispondenza dello strato più ricco di sabbia, tale osservazione risulta più evidente per gli scavi B e C nella sospensione suolo - soluzione salina.

La CSC è alta entro i 15 cm di profondità, caratteristica da associare alla maggiore acidità del suolo che sfavorisce le reazioni di decomposizione e mineralizzazione della sostanza organica; lo strato superficiale dello scavo A mostra un valore leggermente superiore rispetto allo stesso nello scavo B, a parità di pH e tipologie fitosociologiche della copertura vegetale. Lo strato superficiale dello scavo C, a sua volta, mostra una CSC leggermente inferiore rispetto allo stesso nello scavo B.

La dotazione di Carbonio organico e sostanza organica è significativa solo nello strato di campionamento più superficiale; maggiore nello scavo B rispetto ad A e C. L'andamento è simile a quello della CSC, diminuisce sino allo strato S, dove si raggiunge il valore inferiore ed aumenta, in modo più significativo negli scavi B e C rispetto allo scavo A sino al fondo dello scavo.

Note (Footnotes)

¹ Atto istitutivo, registrato all'Università di Pavia al n°30: atto di donazione da parte del Sig. Giuseppe Negri all'Università di Pavia (n.6755 di Rep./2124 di Racc. dei Notai Dott. Pogliani e Dott. Reitano); accettazione della donazione da parte dell'Università di Pavia (n.7223 di Rep./2267 di Racc. in data 02/12/1967)

² Legge Regionale n.58 del 1973 - Lombardia. Riserve Naturali Integrali: esclusiva protezione delle risorse naturali presenti; divieto di esercitare qualunque attività in contrasto con le finalità di tutela, unica eccezione la ricerca scientifica

³ Nell'atto ufficiale di donazione si evidenzia quanto segue: "la donazione viene fatta perché il bosco donato venga conservato nello stato attuale ed integro in perpetuo con tutte le sue essenze sia d'alto fusto che di sottobosco, rappresentando lo stesso uno degli ultimi lembi della foresta riparia del Fiume Ticino"

⁴ Posizione Italiana: Metodo Ufficiale n°III.1 - Supplemento Ordinario G.U. n°248 del 21/10/1999; Posizione Internazionale: ISO 10390

⁵ Posizione Italiana: Metodo Ufficiale n°XIII.2 - Supplemento Ordinario G.U. n°248 del 21/10/1999; Posizione Internazionale: ISO 11260

⁶ Posizione italiana: Metodo Ufficiale n°VII.3 - Supplemento Ordinario G.U. n°248 del 21/10/1999; Posizione Internazionale: assente

⁷ Jackson M.L. Soil Chemical Analysis. Prentice - Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. USA (1965)

Finanziamento

Il presente lavoro è stato realizzato su finanziamento del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio.

Bibliografia

- ARAPIS G.D., KARANDINOS M.G., 2004, *Migration of ¹³⁷Cs in the soil of sloping semi-natural ecosystem in Northern Greece*, Journal of Environmental Radioactivity, 77: 133-142
- BARGAGLI R., 1998, *Trace elements in terrestrial plants. An ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery*, 156-157, Springer
- MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE E FORESTALI – OSSERVATORIO NAZIONALE PEDOLOGICO E PER LA QUALITÀ DEL SUOLO, 2000, *Metodi di Analisi del Suolo*, Franco Angeli, Milano
- MOTAVALLI P.P., PALM C.A., PARTON W.J., ELLIOTT E.T., FREY S.D., 1995, *Soil pH and organic C dynamics in tropical forest soils: evidence from laboratory and simulation studies*, Soil Biol. Biochem., 27: 1589-1599
- REZZOUG S., MICHEL H., F. FERNEX, G. BARCI-FUNEL, V. BARCI, 2006, *Evaluation of ¹³⁷Cs fallout from the Chernobyl accident in a forest soil and its impact on Alpine Lake sediments, Mercantour Massif, S.E. France*, Journal of Environmental Radioactivity, 85: 369-379
- RÜHLMANN J., KÖRSCHENS M., GRAEFE J., 2006, *A new approach to calculate the particle density of soils considering properties of the soil organic matter and the mineral matrix*, Geoderma, 130: 272-283
- SOCIETÀ ITALIANA DELLA SCIENZA DEL SUOLO, 1985, *Metodi Normalizzati di Analisi del Suolo*, Edagricole, Bologna
- STAUNTON S., 1997, *On the mechanisms which determine the fate of radiocaesium in soil*, Soil pollutants – Analysis Magazine, 25: 24-28
- STAUNTON S., DUMAT C., ZSOLNAY A., 2002, *Possible role of organic matter in radiocaesium sorption in soils*, Journal of Environmental Radioactivity, 58: 163-173
- TOMASELLI R., GENTILE S., 1971, *La riserva naturale integrale "Bosco Siro Negri" dell'Università di Pavia*, Atti Ist. Bot. Lab. Critt. Univ., Pavia, ser. 6, Vol.VII : 41-70
- VAN BERGHEIJK K.E., NOORDIJK H., LEMBRECHTS J., FRISSEL M.J., 1992, *Influence of pH, soil type and soil organic matter content on soil-to-plant transfer of radiocaesium and strontium as analyzed by a nonparametric method*, Journal of Environmental Radioactivity, 15: 265-276